

32채널 뇌파 및 뇌유발전위 Mapping 시스템*

안창범¹·박대준¹·유선국²·이성훈³·함윤정⁴

= Abstract =

32-Channel EEG and Evoked Potential Mapping System

C.B. Ahn¹, D.J. Park¹, S.K. Yoo², S.H. Lee³, Y.J. Ham⁴

A clinically oriented 32-channel electroencephalogram (EEG) and evoked potential (EP) mapping system has been developed. EEG and EP signals acquired from 32-channel electrodes attached on the head surface are amplified by a pre-amplifier which is separated from main amplifier and is located near the patient to reduce signal attenuation and noise contamination between electrodes and the amplifier. The amplified signals are further amplified by a main amplifier where various filtering and gain control are achieved. An automatic artifact rejection scheme is employed using neural network-based EEG and artifact classifier, by which examination time is substantially reduced. The continuously measured EEG signals are used for spectral mapping, and auditory and visual evoked potentials measured in synchronous to the auditory and visual stimuli are used for temporal evoked potential mapping. A user-friendly graphical interface based on the Microsoft Window 3.1 is developed for the operation of the system. Statistical databases for comparisons of group and individual are included to support a statistically-based diagnosis.

Key words : Electroencephalogram(EEG), Evoked potential, Mapping system, Topography

요 약

임상적인 응용을 목적으로 하는 32채널 뇌파 및 유발전위 mapping 시스템을 개발하였다. 본 시스템에서는 머리에 부착한 32채널 전극으로부터 측정된 뇌파를 전단증폭기에서 증폭한 후 주증폭기로 보내어 추가적인 증폭을 하였다. 전단증폭기를 주증폭기와 분리하여 환자가 가까이 놓음으로써 전극과 증폭기 사이에서의 뇌파 신호의 감쇄 및 잡음의 영향을 최소화하도록 하였다. 주증폭기는 다양한 필터링과 이득조절을 담당하도록 하였다. 본 시스템에

서는 신경망을 사용하여 뇌파와 artifact를 자동 분류함으로써 검사 시간을 대폭적으로 줄일 수 있었다. 뇌파 map은 연속적인 뇌파를 측정하여 주파수 영역에서 구성하였고, 시각 및 청각 유발전위 map은 자극에 동기를 시킨 유발전위를 측정하여 시간 영역에서 map을 구성하였다. 개발된 시스템은 마이크로소프트 윈도우 3.1에 기반을 둔 그래픽 인터페이스를 채용하여 운용이 용이하도록 하였고, 통계적 데이터 베이스를 사용하여 개인과 집단간의 비교를 통한 통계적 진단이 가능하도록 하였다.

¹광운대학교 전기공학과

¹Department of Electrical Engineering, Kwangwoon University

²연세대학교 의용공학 교실

²Department of Medical Engineering, Yonsei University

³연정 뇌기능 수면 연구소

³Yonjung Brain Function and Sleep Research Institute

⁴미래 엔지니어링

⁴Meerae Engineering Co.

*이 연구는 통상산업부에서 시행한 공업 기반기술 개발 사업의 지원을 받았다.

통신저자 : 안창범, (139-701) 서울시 노원구 월계동 447-1, Tel. (02)940-5148 Fax. (02)909-3159

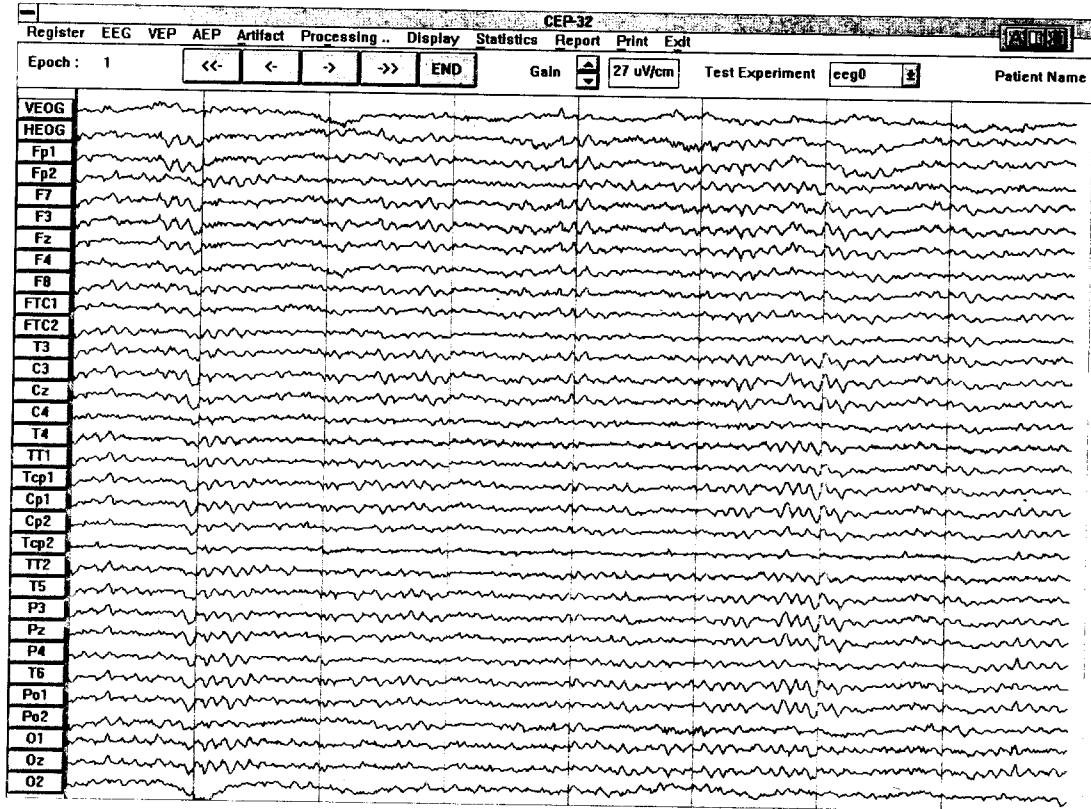


그림 1. 본 연구에서 개발한 32 채널 뇌파 증폭기 시스템으로 측정된 뇌파
 Fig. 1. EEG signals measured by the 32-channel EEG amplifier and measurement system

서 론

뇌파 및 뇌유발전위는 뇌의 수많은 신경에서 발생된 전기적인 신호의 합성으로 나타난 뇌표면의 미세한 전위이다¹⁾. 뇌파 신호는 뇌의 활동 및 상태, 뇌기능에 따라 시공간적으로 변화하는데 뇌파의 측정은 뇌기능의 장애를 진단하기 위한 필수적인 과정이다. 일반적으로 뇌파 신호는 주파수에 따른 대역별 특성과 시간 영역에서의 특성, 그리고 뇌기능과 관련된 공간적 특성을 함께 가지고 있는데, 컴퓨터 및 신호처리 기술을 이용하여 뇌기능을 시간 및 주파수영역에서 영상화한 것이 뇌파 및 유발전위 진단 시스템이다^{2,3)}. 뇌파 및 유발전위 진단 시스템은 기존의 X-ray 단층 촬영 시스템(Computerized Tomography : CT) 등과 비교하여 해상도는 많이 떨어지나 뇌구조에서 한 단계 더 진보한 뇌기능 진단이 가능한 장점을 가지고 있으며, 비슷한 목적의 양자방출단층촬영기(Positron Emission Tomography : PET)나 뇌자도(Magnetoencephalography : MEG) 등에 비하여 상대적으로 시스템이 간단하고 구현이 용이한 면이 있다.

기존의 상용 뇌파 및 유발전위 mapping 시스템들은 검

사 과정에서 많은 부분을 전문가가 판정하고, 관련 파라미터들을 설정하여야 하는 등 사용하기가 쉽지 않았고, 또한 검사 시간이 긴 단점이 있었다. 이러한 문제점들을 극복하고자 개발한 시스템에서는 신경망을 사용하여 자동으로 artifact를 screening 하여 검사 시간을 단축시켰고, 통계적 진단 방법을 도입하여 객관적인 비교 진단이 가능하게 하였으며, 또한 편리한 사용자 인터페이스를 채용하여 임상 적용이 용이하도록 하였다.

본 논문에서는 개발한 32 채널 뇌파 및 유발전위 시스템의 주요 구성 및 기능을 소개하고, 본 시스템으로 얻은 뇌파 및 유발전위 map, 스펙트럼, 사용자 인터페이스 등을 보였다. 서론에 이어 2절에서 5절까지는 시스템의 주요 구성 요소들, 즉 측정시스템, 증폭시스템, 신호처리부, 사용자 인터페이스들을 기술하였고, 마지막으로 6절에서 결론 및 고찰을 기술하였다.

뇌파 및 유발전위 측정 시스템

환자의 머리에 부착한 전극에서 측정된 뇌파 및 유발전위를 증폭기 및 A/D (Analog to Digital) 변환기를 통하여 디지털신호로 바꾸어 epoch 단위로 컴퓨터에 저장

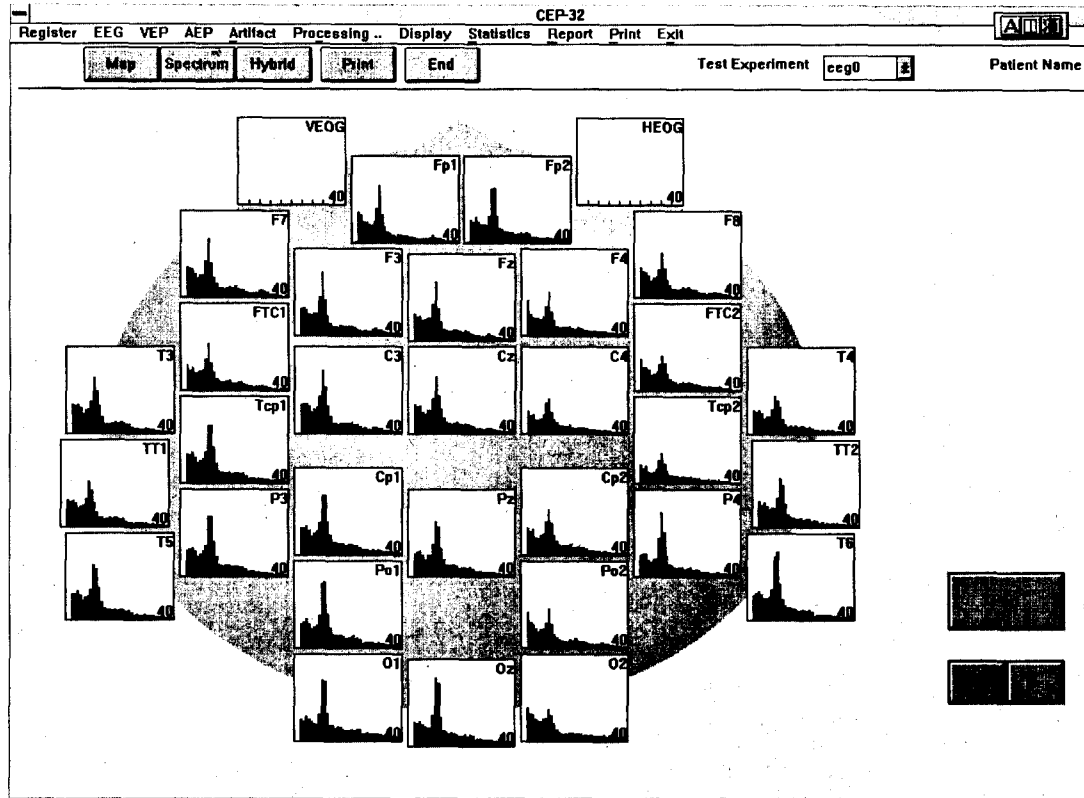


그림 2. 머리 모양의 몽타주 위에 나타난 32 채널에서 측정된 뇌파의 스펙트럼. 각각의 스펙트럼은 4개의 주파수 대역에 따라 서로 다른 색깔로 표시하였다

Fig. 2. The 32-channel EEG spectra displayed on the head-shaped montage. The four frequency bands in each spectrum are shown in different colors

하였다. 머리에 부착한 전극의 배치는 국제 뇌파 및 임상 뇌대사 학회 연맹 (International Federation of Societies for Electroencephalography and Clinical Neurophysiology) 에서 추천하는 10-20 시스템을 따랐다^{4,5)}.

뇌파 신호에서 임상적으로 사용하는 유효한 주파수 성분은 100 Hz 미만이기 때문에 뇌파 신호의 sampling rate 는 Nyquist rate 보다 높은 채널 당 256 Hz로 하였다. 유발전위의 sampling rate 는 자극이 가해지는 주기와 peak latency 시간, epoch 당 샘플 개수 등을 고려하여 시각 유발전위는 채널 당 796 Hz로 sampling 하였고 (시각자극주기 : 0.5 s), 청각 유발전위의 경우 365 Hz로 sampling 하였다 (청각자극주기 : 1.5 s). 변환된 디지털 신호의 resolution은 12 bits/샘플로 하였으며, 한 epoch 당 샘플 개수는 뇌파와 유발전위 모두 256 으로 하였다. 입력 채널의 개수는 32 로 하였으며, 각 전극의 전위는 하나의 접지점(보통 귀의 전위)에 대하여 측정하였다. 뇌파 및 유발전위 측정 시스템은 dual 채널 DMA buffering으로 연속적인 측정 (뇌파 측정) 이 가능하도록 하였고, 유발전위 측정의 경우 자극의 발생 및 측정 모두를

하나의 프로세서가 담당하도록 하였다.

뇌파 및 유발전위 증폭 시스템

뇌파 및 유발전위 진단 시스템에서 주요 요소 중의 하나는 100 μ V 미만의 작은 뇌파 신호를 증폭할 수 있는 증폭 시스템의 구성이다. 본 시스템에서는 뇌파증폭기를 진단증폭기와 주증폭기로 분리하였으며, 진단증폭기를 환자 가까이 놓음으로써 전극과 증폭기 사이에서의 신호의 감쇄 및 채널 잡음의 영향을 최소화하도록 하였다. 진단 증폭기는 전극의 영향을 줄이기 위한 임피던스 변환기, 차동 증폭기, 기저선 변동 및 온도에 의한 변동을 제거하기 위한 직류 제거 필터 등으로 구성하였고, 누설 전류에 의한 환자의 안전과 주증폭기와의 잡음을 분리하기 위한 분리 증폭기, 60 Hz에 의한 공통선 잡음을 제거하기 위한 인체 구동 회로 등을 포함하였다⁶⁾. 진단증폭기의 모든 전원은 안전을 위하여 DC-to-DC 변환기를 사용하여 주전원과 분리하였다. 주증폭기에서 전력선 잡음 제거를 위한 60 Hz 제거 필터 및 직류의 변동과 증폭기 및 근전도

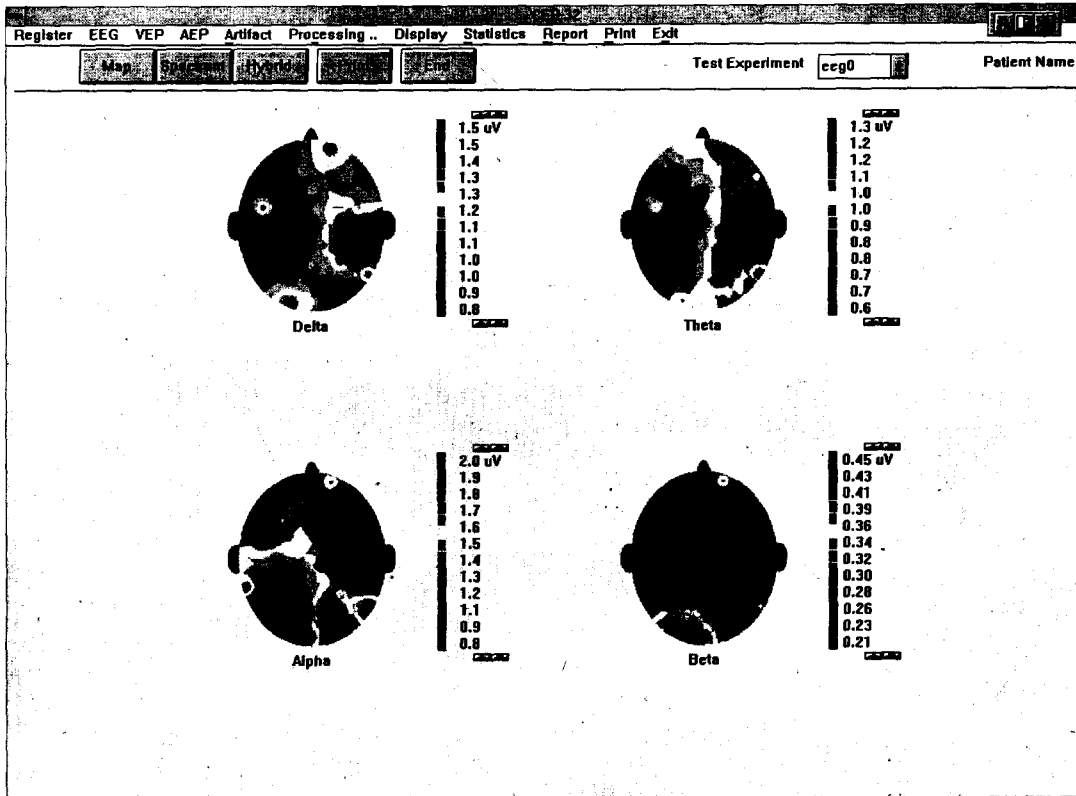


그림 3. 4개의 주파수 대역에 대한 뇌파 map
Fig. 3. EEG maps for the four frequency bands

신호에 의한 잡음 등의 제거를 위한 대역통과 필터 (anti-aliasing 필터 역할도 동시 수행) 등을 거친 뇌파 신호는 가변 이득 조정부 및 버퍼를 경유하여 컴퓨터에 입력된다. 개발된 측정 시스템 및 증폭 시스템으로 얻은 32 채널 뇌파 신호를 그림 1 에 보였다.

뇌파 및 유발전위 신호 처리

뇌파는 어떤 자극도 가하지 않은 상태에서 자연스럽게 나타나는 신호이고, 시각 유발전위와 청각 유발전위는 각각 시각적 자극과 청각적 자극을 가한 후 측정된 뇌파 신호이다. 측정된 뇌파와 유발전위에 전처리과정을 적용한 후 뇌파의 경우 주파수 영역에서, 유발전위의 경우 시간 영역에서 각각 이차원 topography (map)를 구성하였다.

1. 전처리 과정

컴퓨터에 입력한 뇌파 신호에서 여러가지 전자회로의 offset과 환자의 움직임 등에 의하여 신호의 파형이 점차 증가하거나, 감소하는 artifact를 제거하기 위하여 선형보정 (linear detrend) 을 거쳤다. 이것은 각 전극에서 측정된 뇌파의 파형에서 제곱 오차를 최소로 하는 일차함수

식을 구하여 제거하는 과정이다. 또한 뇌파와 유발전위는 디지털 저역필터와 60 Hz 제거필터를 거쳤다. 저역 필터와 60Hz 제거필터는 뇌파 증폭기 내에 hardware로도 구성되어 있으나 디지털 필터 (3차 IIR 필터)를 다시 한번 적용함으로써 잡음의 차단 효과를 높였다.

2. 신경망을 이용한 artifact 자동 제거

Artifact의 주요 원인은 환자의 움직임에 기인하는데 특히 눈은 뇌와 밀접한 연관이 있기 때문에 눈의 움직임은 artifact 발생의 주된 원인이 된다. 일반적으로 좋은 뇌파 신호는 주기성이 강하고 진폭의 변화가 그다지 크지 않은 반면에, artifact를 가지고 있는 뇌파는 주기성이 약하고 진폭의 변화가 심하다. 기존의 대부분의 뇌파 및 유발전위 시스템들에서는 측정된 뇌파를 전문가(의사)가 직접 눈으로 확인하면서 artifact를 판정해 왔는데 이때 많은 시간이 소요되고 또한 이 과정이 전체 시스템의 자동화에 큰 제약이 되어 왔다. 개발된 시스템에서는 전문가가 artifact를 판정하는 지식을 이용하여 전문가 수준의 지식을 갖는 신경망을 구성하였다^{7,8)}. 구성된 신경망은 다층 perceptron 구조로 입력층, 은닉층, 출력층의 3층으로 되어 있다. 신경망의 입력 신호로는 전처리 과정을 거친

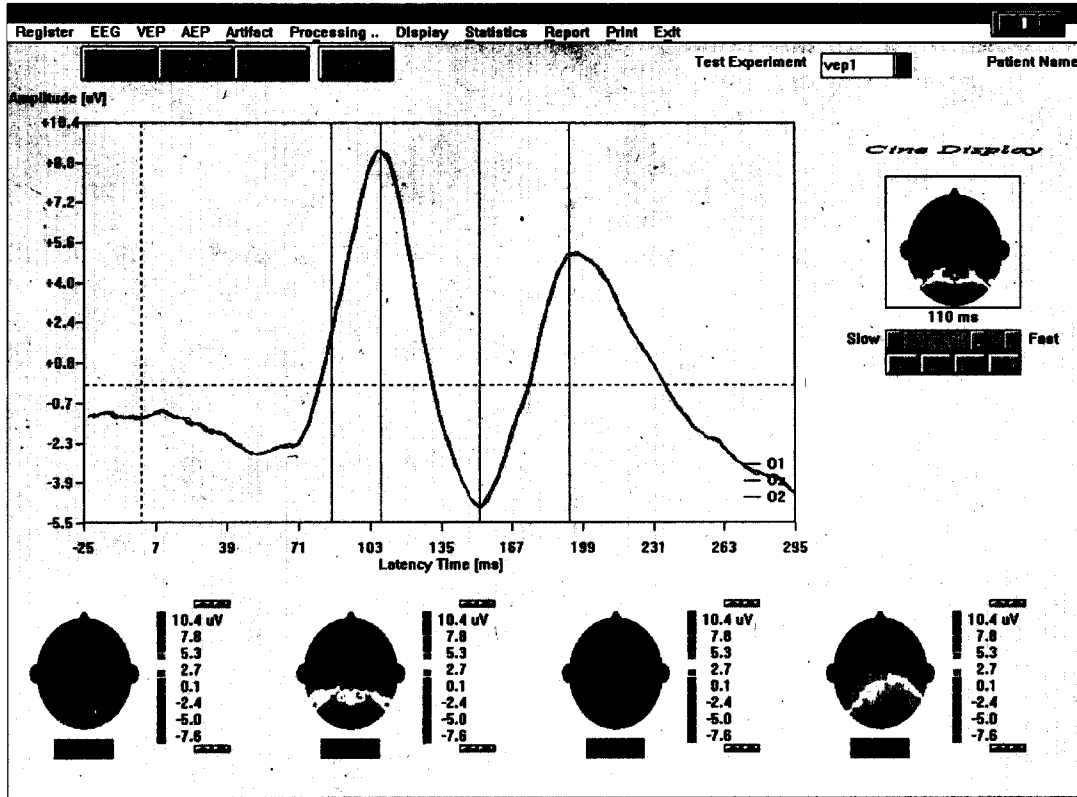


그림 4. 시각과 관련된 대표적인 3전극에서의 유발전위 파형과 4곳의 latency 시간에서 구성한 유발전위 map
 Fig. 4. The visual evoked potentials (VEP) highly related to the vision are shown with the VEP maps obtained at the latency times shown

뇌파 신호를 한 epoch 단위로 사용하였고, 신경망의 학습은 역전파 알고리즘을 사용하였다. 학습을 마친 신경망의 일반화 정도를 시험해 본 결과 좋은 뇌파를 검출할 확률은 89%로, 그리고 artifact를 좋은 뇌파로 잘못 인식할 확률은 1.6%로 나타났다⁹⁾. 이러한 신경망의 성능은 서로 다른 전문가들이 동일한 뇌파를 분류할 때 판정이 일치할 확률보다 오히려 높은 것으로서 한 전문가가 동일한 데이터를 약 2주 간격으로 분류하였을 때 판정이 일치할 확률과 비슷한 정도이다.

3. 뇌파 신호 처리

측정된 뇌파 신호는 주파수 대역에 따라 delta(1-4 Hz), theta(4-8 Hz), alpha(8-13 Hz), beta(13-22 Hz)로 나뉘어지며 각 대역에서의 뇌파 스펙트럼은 뇌 기능과 공간적 위치에 따라 특정한 패턴과 크기를 갖는다. 스펙트럼을 얻기 위해서는 먼저 뇌파신호를 epoch 단위(1초)로 끊어서 Fast Fourier Transform (FFT)을 한 후, 절대값을 취하여 ensemble 평균을 취하였다. 그림 2는 32개의 전극에서 측정된 뇌파의 스펙트럼을 delta, theta, alpha, beta 대역에 따라 서로 다른 색깔을 사용하여 머

리 모양의 몽타주 위에 나타낸 것이다.

각각의 주파수 대역에 대한 뇌파의 크기를 보통 이차원 topography (map) 형태로 구성하여 진단에 사용하는데 실제 뇌파를 측정된 전극은 공간상에서 32 곳으로 한정되어 있기 때문에 보다 효율적인 이차원 map을 구성하기 위하여 보간법을 사용하였다. 선형 보간은 보간하고자 하는 곳에서 가장 가까이 위치한 4곳의 전극에서 측정된 뇌파신호들에 보간하고자 하는 곳과 각 전극간의 거리에 반비례하는 가중치를 곱한 후 합하여 얻어진다. 이러한 신호 처리를 거쳐 얻어진 뇌파의 스펙트럼 map을 그림 3에 보였다.

4. 뇌유발전위 신호처리

뇌유발전위는 시각 및 청각 자극을 가하고 난 후 자극에 동기를 맞추어 측정된 신호이다. 뇌유발전위에는 보통 자발적인 뇌파가 더해져서 나타나기 때문에 random 한 특성을 갖는 뇌파를 제거하기 위하여 시간 영역에서 ensemble 평균을 하였다. 뇌유발전위 map은 자극이 가해진 후 일정한 시간 (latency time) 뒤에 32채널에서 측정된 유발전위값들을 이용하여 뇌파 map과 비슷하게 보간법



그림 5. 개발한 시스템의 전체 초기화면. 뇌파 및 유발전위 신호의 측정 및 검사, 분석 과정을 도구 상자로 나타내었으며, 메뉴의 선택은 상단의 메뉴 또는 도구 상자의 선택으로 가능하게 하였다

Fig. 5. The screen for the operation of the EEG and EP mapping system. The overall procedures for the EEG and EP measurements, processing, and analysis are schematically shown by the graphical tool boxes. The menu can be selected by choosing either the conventional menu or the graphical tool box

을 사용하여 얻어진다. 그림 4 는 시각과 관련된 대표적인 3채널에서의 시각 자극에 따른 유발전위 파형과 4곳의 latency 시간에서 얻어진 유발전위 map을 나타내고 있다. 그림 4에서 자극이 가해진 시점을 점선으로 나타내었고, 이 위치를 latency 시간의 원점으로 하였다.

사용자 인터페이스

시스템 운용의 편리함과 개발된 소프트웨어의 손쉬운 유지 보수를 위하여 사용자 인터페이스를 마이크로소프트사의 윈도우 (Software Development Kit : SDK)에 기초를 둔 C 언어로 작성하였다. 32 채널 전산화 뇌파 및 유발전위 시스템(Computerized EEG and EP System : CEP-32)을 처음 수행하게 되면 그림 5의 초기 화면이 나타난다. 메뉴는 왼쪽에서부터 등록, 뇌파 측정 및 측정된 데이터 검사, 시각 유발전위 (Visual Evoked Potential : VEP) 측정 및 검사, 청각 유발전위 (Auditory Evoked Potential : AEP) 측정 및 검사, artifact 판정, 신

호처리, 디스플레이, 통계적 비교 진단, 검사보고서 작성, 프린트, 그리고 실행 프로그램에서 빠져나가는 종료메뉴로 구성되어 있다. 메뉴 디자인은 기본적으로 뇌파 측정 및 진단 과정에 기초를 두어 왼쪽에서 오른쪽으로 순차적으로 선택을 하게 되면 검사와 진단이 연속적으로 이루어지도록 하였다. 메뉴 아래의 그림은 메뉴의 절차를 보다 알기 쉽게 도구 상자 형식으로 나타낸 것이며, 도구 상자 간에는 화살표로 진행 방향을 표시하였다. 메뉴의 선택은 상단의 메뉴 또는 아래의 도구 상자를 커서로 선택하면 된다. 주요 메뉴에 대한 간단한 설명은 아래와 같다.

1. 뇌파 및 유발전위 측정과 검사

뇌파 측정을 위한 메뉴로써 측정된 뇌파는 화면에 연속적으로 나타나게 되고 (8 epoch), 상단에는 파형의 크기를 조절할 수 있는 이득 상자가 있다. 시각 자극에 따른 뇌유발전위 측정을 선택할 경우 화면에 1.5×2.0cm의 흰색과 검은색의 격자무늬가 나타나며 500ms 간격으로 격자무늬의 색깔이 반전된다. 청각 자극에 따른 뇌유발전위

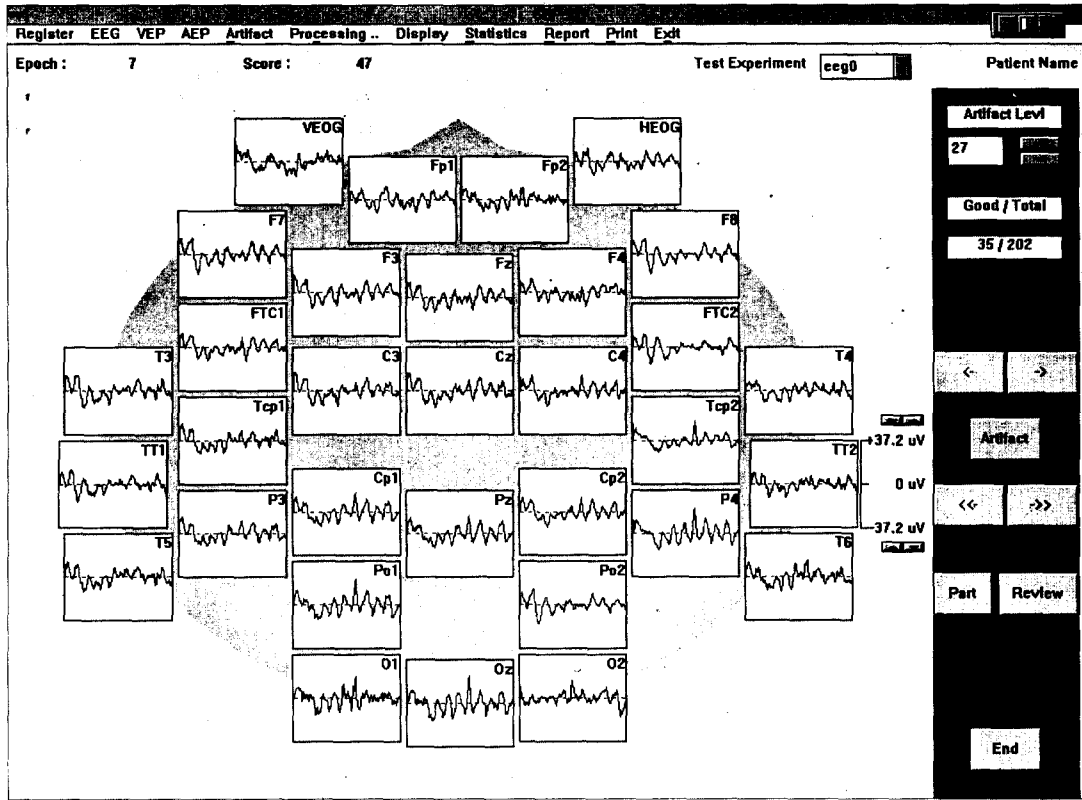


그림 6. 신경망을 이용한 뇌파와 artifact 판정 화면
 Fig. 6. The screen for the EEG and artifact classification using the neural network

측정을 선택할 경우 1000 Hz 와 2000 Hz 의 자극음이 4 : 1의 비율로 불규칙하게 1.5 초 간격을 두고 발생된다.

측정된 뇌파 및 유발전위 파형을 검사하기 위한 메뉴 (Review)를 선택하면 처음 8 epoch 의 파형이 나타나며 상단의 <<- , <- , ->, ->> 단추들을 사용하여 전후로 이동시킬 수 있다 (그림 1 참조). 화면의 왼쪽 상단에 epoch 수와 오른쪽 상단에 환자 이름과 실험 내용이 나타나도록 하였다.

2. Artifact 판정

Artifact 판정 메뉴를 선택하면 그림 6과 같은 화면이 나타나며, 화면 왼쪽에 선택된 뇌파의 epoch 및 신경망에 의하여 판정된 점수가 나타난다. 신경망에 의한 점수는 0에서 100까지로 양질의 뇌파에 가까울수록 높은 점수가 나타난다. 각 epoch에 대하여 신경망이 판정한 점수가 오른쪽 상단의 artifact 기준값 이상이 되면 양질의 뇌파로 받아들여지며, artifact 기준값은 검사하는 전문가가 설정할 수 있도록 하였다. Artifact 기준값이 설정되면 전체 측정된 뇌파의 epoch 수와 양질의 뇌파 epoch 수가 artifact 기준값 아래에 나타난다. 왼쪽 화면에 나타나는 파형은 신경망에 의하여 양질의 뇌파로 판정된 epoch 의

신호들으로써 <- , ->, <<- , ->> 단추들을 사용하여 전후로 이동시킬 수 있다. 따라서 전문가가 검사해야 할 뇌파의 수는 측정된 전체 epoch 수에서 신경망에 의하여 양질의 뇌파로 판정된 epoch 수로 줄어들게 된다. 만약 신경망에 의하여 양질의 뇌파라고 판정된 것을 artifact로 바꾸고자 할 경우 artifact 단추를 누르면 점수가 artifact 기준값 아래로 떨어져 판정이 바뀌게 된다. 뇌파의 디스플레이는 All/Part 단추로 32채널 전체 파형 또는 주요 10채널의 파형을 선택할 수 있도록 하였다. Review 단추는 앞의 데이터 검사 모드와 비슷한 디스플레이 방식으로 한 epoch 단위가 아닌 전체적인 뇌파 파형(8 epoch)을 보면서 artifact를 판정할 수 있다. 이 경우 상단의 상자 내에 epoch 수와 신경망에 의하여 판정된 점수가 나타나는데 상자가 붉은 색이면 artifact를, 푸른색이면 양질의 뇌파를 뜻한다. 신경망에 의한 판정을 바꾸고 싶을 때에는 상자 내를 커서로 누르면 된다.

3. 디스플레이

뇌파 map을 선택할 경우 4개의 주파수 대역에 대한 뇌파의 스펙트럼 map(그림 3 참조)이 나타나며, 스펙트럼을 선택할 경우 각 전극에서 측정된 뇌파의 스펙트럼이

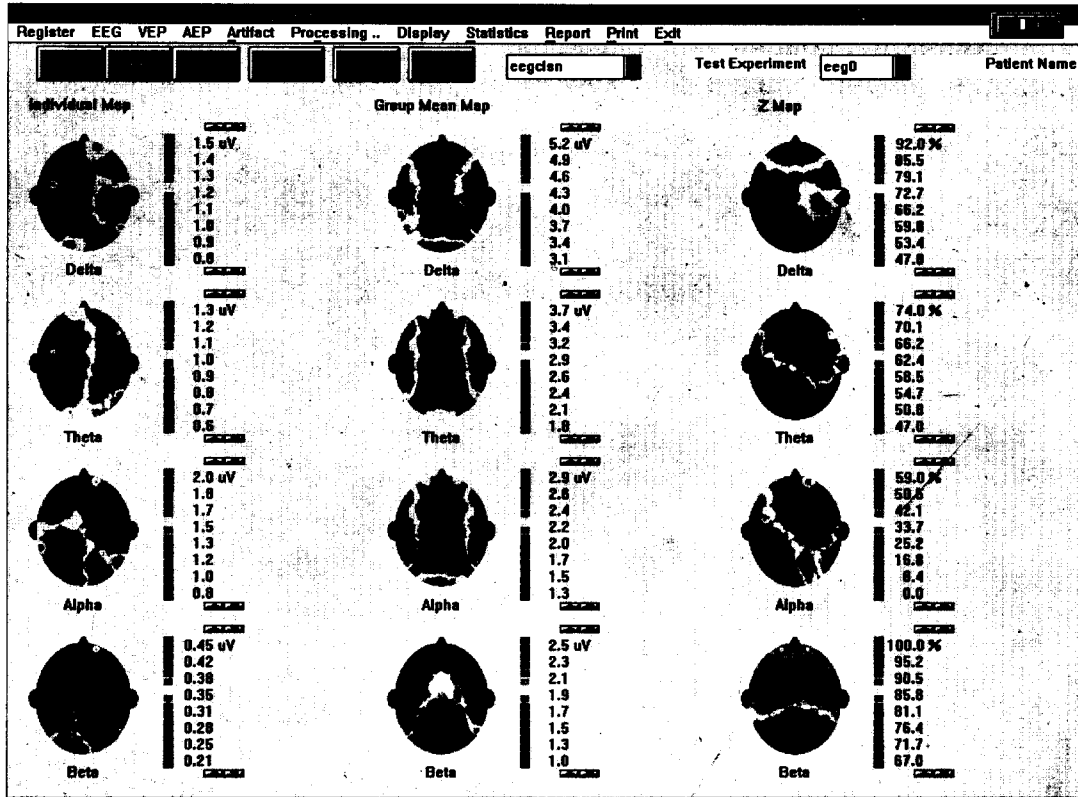


그림 7. 통계적 진단을 위한 화면. 첫 번째 열에 개인의 map, 두 번째 열에 그룹의 평균값으로 구성한 map, 그리고 세 번째 열에 이들 간의 차이를 그룹의 표준편차로 나눈 z statistic map이 나타난다

Fig. 7. The screen for the statistically-based diagnosis. The individual maps are in the first column, the average group maps are in the second column, and the z statistic maps obtained by the differences between the individual and group maps divided by the standard deviations of the group are in the third column

몽타주 위에 나타난다(그림 2 참조). 각각의 스펙트럼은 원하는 대역으로 확장 및 축소가 가능하다. Hybrid를 선택할 경우 대표적 채널의 스펙트럼과 1-12 Hz까지의 주파수에 해당하는 12개의 map이 함께 나타난다.

유발전위 map을 선택할 경우 화면의 위 부분에 주요 채널의 유발전위 파형들이 나타나고 유발전위 파형에서 원하는 latency 시간을 커서로 눌러 선택하면 그 시간에서의 map이 만들어지며 아래에 latency 시간이 나타난다(그림 4 참조). Map의 위치는 latency 시간 순서대로 자동으로 배열되도록 하였다. Cine 디스플레이는 EP map이 시간에 따라 동적으로 변하는 과정을 관찰할 수 있도록 연속적으로 디스플레이하는 모드이고, EP Hybrid는 왼쪽의 유발전위 파형중 선택된 구간(색상이 반전되어 나타남)을 12 간격으로 균등하게 나누어 신호의 평균값으로 12 개의 EP map을 구성하여 latency 시간과 함께 오른쪽에 나타내는 모드이다.

4. 통계적 비교 진단

통계적 비교 진단 메뉴에서 비교 단추가 눌러지면 그림 7과 같이 개인의 map (첫 번째 열)과 통계적 데이터베이스에서 구한 그룹의 평균값으로 구성한 map (두 번째 열) 및 이들의 차이를 그룹의 표준편차로 나눈 z statistic map¹⁰⁾ (세 번째 열)이 나타난다. 개인과 그룹간에 차이가 큰 부위가 z statistic map에서 크게 나타나며(그룹의 표준편차가 작을수록 동일한 차이에 대한 통계적 분별도가 커진다) 이를 기초로 개인과 특정 그룹간의 객관적인 비교가 가능하도록 하였다. 통계적 데이터베이스는 현재 정상인에 대하여 연령별로 구성되어 있으며, 환자군들에 대한 데이터베이스 구축이 진행 중에 있다.

결론 및 고찰

임상 목적의 32 채널 뇌파 및 유발전위 mapping 시스템을 개발하였다. 기존의 상용 시스템들은 검사 과정에서

많은 부분을 전문가의 개별적인 경험과 판정에 의존하는 등 사용하기가 용이하지 않았고, 또한 검사 시간이 긴 단점이 있었다. 이러한 문제점들을 극복하기 위하여 개발된 시스템에서는 인공지능 및 신호처리 기술을 활용하여 시스템을 자동화하였고, 검사 시간을 단축하였으며, 객관적인 비교 진단 기능 및 편리한 사용자 인터페이스를 채용하여 임상 적용이 용이하도록 하였다.

본 연구에서 개발한 시스템의 주요 특징 및 기능을 요약하면 증폭 과정에서는 진단증폭기와 주증폭기를 분리하여 부피가 작은 진단증폭기를 환자 가까이 위치시켜 신호를 먼저 증폭한 후 주증폭기에 전송함으로써 전극과 증폭기 사이에서의 신호의 감쇄 및 채널 잡음을 줄였다. 또한 다층 perceptron 구조의 신경망을 이용하여 측정된 뇌파에서 순수 뇌파 신호와 다른 생체 신호가 내재한 artifact를 자동으로 분류하였다. 뇌파의 경우 연속적인 측정을 하여 FFT를 사용하여 주파수 영역에서 map을 구성하였고, 시각 유발전위나 청각 유발전위의 경우 자극에 동기를 맞추어 유발전위를 측정하여 시간 영역에서 map을 구성하였다. 통계적 데이터베이스들을 포함하여 개인과 특정 집단간의 z statistic 값을 2차원 map 형태로 볼 수 있도록 하여 통계적 진단이 가능하도록 하였다. 시스템의 인터페이스는 마이크로소프트 윈도우 3.1에 기반을 둔 그래픽 인터페이스를 사용하여 사용자가 운용하기 편리하게 하였고, 메뉴 디자인은 뇌파 측정 및 진단 과정에 기초를 두어 순차적으로 선택을 하면 검사 및 진단이 이루어지도록 하였다.

개발된 시스템의 성능 평가를 위하여 정상인과 환자에 적용하여 얻은 뇌파 및 유발전위, 스펙트럼, 뇌파 spectral map, 유발전위 temporal map, z statistic map 등을 예시하였다.

참 고 문 헌

1. E. Niedermeyer and F.L. Da Silva, *Electroencephalography: Basic Principles, Clinical Applications, and Related Fields*, 3rd ed., Williams & Wilkins, Baltimore, 1993.
2. P.K.H. Wong, *Introduction to Brain Topography*, Plenum, New York, 1991.
3. 안찰범 외 15인, "EEG 및 유발전위를 이용한 진단시스템 개발" 공업기반기술 개발사업 최종보고서, 통상산업부, 1995.
4. R. Cooper, J.W. Osselson, J.C. Shaw, *EEG Technology*, 3rd ed. Butterworths, Boston, 1980.
5. S.H. Lee, H.W. Ko, S.K. You, W.K. Kim, H.S. Lee, and H.Y. Lee, "Development of a Computerized EEG Imaging System with a Personal Computer," *Yonsei Medical Journal*, Vol. 30, pp. 45-53, 1989.
6. 유선국, 김남현, "뇌파신호 측정을 위한 고정밀 전치증폭기의 설계" 의공학회지, 제 16권, pp. 301-307, 1995.
7. C.B. Ahn, T.Y. Lee, J.H. Woo, and S.H. Lee, "Application of Neural Network to Automatic Artifact Detection in Computerized EEG Neuro-Functional Mapping System" Proc.'94 ICONIP, PP. 500-504, Seoul, Oct 17-21, 1994.
8. 안찰범, 이택용, 이성훈, "신경망을 사용한 뇌파 및 Artifact 자동 분류" 의공학회지 제 16권, pp. 157-166, 1995.
9. C.B. Ahn, T.Y. Lee, and S.H. Lee, "A Neural Network-Based EEG and Artifact Classifier," submitted to IEEE Trans. Biomed. Engineering, 1995.
10. K.A. Maurer and T. Dierks, *Atlas of Brain Mapping: Topographic Mapping of EEG and Evoked Potentials*, Springer-Verlag, New York, 1991.